

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE PLACAS CROSS-LAMINATED TIMBER (CLT): COMPARAÇÃO DE ELEMENTOS FINITOS VERSUS TEORIAS DE PLACA

Rodrigo Adolfo Benitez Mendes¹ (rodrigo.btz@outlook.com); **Matheus Erpen Benincá²** (matheuseb@hotmail.com); **Inácio Benvegnu Morsch³** (morsch@ufrgs.br);

^{1,2,3} UFRGS – Escola de Engenharia. CEMACOM, PPGEC. Rio Grande do Sul, Brasil.

Resumo

Painéis Cross-Laminated Timber (CLT) têm se destacado no contexto das construções sustentáveis tanto na comunidade científica quanto tecnológica. Devido ao seu comportamento estrutural complexo, em função das múltiplas camadas posicionadas e coladas em direções ortogonais entre si, diversas pesquisas acadêmicas têm sido realizadas a fim de obter soluções mais precisas e otimizadas, considerando a capacidade resistente nas duas direções. Deste modo, coloca-se em debate o tratamento de painéis CLT por modelos numéricos e analíticos com diferentes graus de complexidade. O presente trabalho propõe dois modelos em elementos finitos utilizando um *software* comercial: (i) empregando elementos de casca quadriláteros de 4 nós, com múltiplas camadas, e que utiliza a teoria de corte Mindlin-Reissner; e (ii) empregando elementos sólidos hexaédricos de 20 nós. Em ambos os modelos numéricos foi adotado um modelo constitutivo ortotrópico linear, aplicado em diferentes direções em cada camada. Um conjunto de placas CLT, submetidas a carregamento estático, analisadas por diversas teorias analíticas de placa em um estudo prévio, foram simuladas com esses dois modelos. Comparando-se os resultados numéricos obtidos foi possível estabelecer o domínio em que o modelo de casca é adequado para simular o comportamento desses painéis em análises estáticas, tendo sido obtida uma boa correlação com os resultados analíticos. Por fim, os dois modelos numéricos foram utilizados para calcular frequências naturais de vibração livre de placas em CLT, e os resultados obtidos foram comparados com equações analíticas de placas.

Palavras-chave: Cross-Laminated Timber. Método dos Elementos Finitos.

Abstract

Cross-Laminated Timber (CLT) panels have stood out in the context of sustainable building in both the scientific and technological communities. Due to its complex structural behavior, owing to the multiple layers positioned and glued in orthogonal directions to each other, several academic researches strive to obtain more precise and optimized solutions, considering the resistant capacity of this material in both directions. Thus, the treatment of this structural element by numerical and analytical models with varying degrees of complexity is discussed. The present work proposes two finite element models using a commercial software: (i) employing Mindlin-Reissner 4-node quadrilateral multilayer shell elements and (ii) employing 20-node solid hexahedral elements. In both numerical models, a linear orthotropic constitutive model was adopted, applied in different directions in each layer. A set of static loaded CLT plates, analyzed in

a previous study by several plate theories of different order, were simulated with these two models. By comparing the obtained numerical results, it was possible to establish the domain in which the shell model is adequate to simulate the behavior of these panels in static analyses, and a good correlation with the analytical results was obtained. Finally, both numerical models were used to calculate natural frequencies of free vibration of CLT panels, and the results were compared with plate analytical equations.

Keywords: Cross-Laminated Timber. Finite Element Method.

1 Introdução

Nas duas últimas décadas, a demanda de construções sustentáveis vem crescendo de maneira exponencial, principalmente na Europa e América do Norte. No Brasil, nota-se esse mesmo movimento, ainda que num ritmo muito mais lento. Neste contexto, destacam-se os painéis *Cross-Laminated Timber* (CLT), atraentes pelo seu baixo impacto ambiental somado à excelente relação peso/resistência, permitindo edificar em grande altura de maneira sustentável, desde que seja utilizada madeira certificada. Esses painéis são pré-fabricados em camadas cruzadas ortogonalmente, coladas com adesivo estrutural e compostas por lamelas de madeira serrada, apresentando uma disposição tipicamente simétrica, com no mínimo 3 camadas (JELEČ; VAREVAC; RAJČIĆ, 2018).

Uma vez que esses painéis são usualmente projetados como vigas, por simplicidade e segurança, o seu potencial mecânico geralmente não é explorado como um todo, limitando suas aplicações a casos convencionais. Consequentemente, a sua capacidade resistente bidirecional é raramente aproveitada (STÜRZENBECHER *et al.*, 2010). Ainda, estas placas fortemente anisótropas são especialmente sensíveis ao cisalhamento na flexão, provocando a distorção das sucessivas camadas ao longo de sua espessura. Desta forma, é recomendável a aplicação de teorias que considerem a influência deste efeito na análise estrutural.

Em análises numéricas de materiais compósitos por elementos finitos, elementos de casca são frequentemente utilizados para modelar estruturas finas, devido à sua simplicidade e redução significativa do custo computacional ao diminuir o número de graus de liberdade empregados. Contudo, esses elementos apresentam algumas desvantagens, entre elas a dificuldade de capturar fenômenos localizados na estrutura, como a variação de deslocamentos coplanares de camada a camada. Elementos sólidos se beneficiam de sua formulação tridimensional em diversos problemas estruturais, superando limitações geométricas e hipóteses cinemáticas, bem como permitem a consideração individual de cada lamela do CLT com as possíveis imperfeições de montagem. Entretanto, são necessários vários desses elementos ao longo da espessura para capturar de maneira precisa os vários fenômenos não-lineares, assim como evitar erros por travamento no caso de esbeltezes altas, aumentando o custo computacional das simulações, em função do grande volume de dados a serem trabalhados. (BARBERO, 2014)

O objetivo do presente trabalho é estudar modelos numéricos que empregam o Método dos Elementos Finitos, e que consideram a capacidade resistente bidirecional de painéis CLT sujeitos a flexão fora-do-plano, avaliando o domínio de aplicabilidade de um modelo